

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛОС ИЗ СПЛАВОВ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ

IMPLEMENTATION OF ALTERNATIVE MANUFACTURING ALLOY BANDS ELECTRICAL

Д.Ш. Нухов, Л.М. Железняк

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
Институт материаловедения и металлургии, кафедра обработки металлов давлением, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: danis_nuchov@mail.ru

Abstract

In order to implement alternative technology nichrome and ferrochromium bands organized smelting alloy ingots and hot rolling. The problems of draw-cycle: providing lubrication to fiber channel and increase their resistance, improved the quality of the bands eliminated breakage and destruction of carbide inserts. Mastered the industrial production of strips for heating elements furnaces.

Проблема производства полос из сплавов сопротивления возникла около 20 лет назад в связи с резким падением объемов продукции, заказываемых заводам черной металлургии со стороны потребителей; в результате получение полос по традиционной схеме, содержащей горячую прокатку слитков массой до 2 т, холодную прокатку до требуемых толщин и продольную резку на готовые полосы, оказалось нерентабельным. На одном из заводов ОЦМ спроектирована и реализована следующая альтернативная технология [1].

1. Выплавка слитков из шихтовых материалов (с минимальным содержанием примесей – водорода в никеле, углерода в хrome и т.п.), флюсов, модификаторов и раскислителей; наполнительное литье при 1550 °С слитков массой 60 кг в чугунные програты и смазанные конические изложницы.

2. Замедленный, в течение 6 – 7 ч нагрев слитков до 1200 – 1250 °С и прокатка на мелкосортном стане 300 полосовых заготовок со смоткой их в бунты. Прокатку ведут на горячих валках без охлаждения водой бочек валков; для их нагрева перед подачей нихрома прокатывают не менее 1 т слитков, близких по свойствам сплавов – алюминия, константана, хромеля и др.

3. Устойчивого ритма прокатки достигли улучшением условий захвата: наваркой днищ калибров обжимной клетки 440 поперечными гребнями, заменой чугунных валков стальными в трех клетях линейной группы 300, получением на валках сетки разгара путем прокатки перед запуском нихрома других сплавов.

4. Травление заготовок, нанесение подмазочного покрытия, острение конца.

5. Волочение на полосы за ряд проходов на машине ВСГ 1/650 через твердосплавные волокна с промежуточными отжигами и травлениями, смазка – мыльный порошок с присадками.

Однако волочение профилей из малопластичных и весьма прочных сплавов – нихрома (особенно) и ферронихрома существенно затруднено в сравнении с более пластичными и менее прочными полосами из медных сплавов, типичных для завода ОЦМ. Параметры волоочильного канала и технологические приемы, применяемые для этих изделий, оказались неприемлемыми для полос из хромоникелевых сплавов вследствие высоких силовых параметров

(напряжения и силы волочения, давления на волоку), а также склонности их к адгезии, несмотря на наличие подмазочного слоя и смазки. Эти факторы плюс неравномерность обжатий на большой и малой гранях полосы (из-за высокого допуска на размеры сечения горячекатаной заготовки) приводят: к интенсивному износу и снижению стойкости волок вплоть до разрушения твердосплавных вставок, частой обрывности и ухудшению качества поверхности полос.

Для реализации альтернативной технологии в части ее волоочильного цикла работу вели по трем направлениям:

- улучшение условий поступления смазки в очаг деформации (ОД), повышение износостойкости волок, ликвидация обрывности;
- обеспечение качества поверхности полос и стабильности волочения;
- резкое снижение вероятности разрушения твердосплавных вставок.

Литературный поиск, касающийся особенностей волоочильного канала, позволил установить следующее.

1. Вопреки значимости сведений о параметрах зон волоочильного канала приводимая информация, в частности о рекомендованных углах рабочей зоны 2 α (от 6 до 30 град) весьма противоречива, а о выходной зоне – крайне скудна.

2. При полноте данных о каналах волок для получения проволоки и прутков гораздо слабее представлены сведения по полосовым профилям. В частности указано, что при волочении полос из прямоугольных заготовок возникает различие длин контакта на различных участках рабочей зоны, деформация на них начинается не одновременно, и на поверхности полосы появляются трещины.

3. Назначение выходной зоны – предупреждение скалывания выходной кромки калибрующей зоны и повреждения металла об эту кромку при нестабильности процесса – вибрации, несоосности канала, заготовки и изделия, динамических рывках и др.

4. Выходная зона смещает ОД к середине длины канала; однако практически нет информации о ее длине, которая может стать важным фактором в деле повышения стойкости твердосплавных вставок,

т.к. прочность нихрома резко возрастает в результате холодного деформационного упрочнения.

С целью достижения результата по первым двум направлениям использовали следующие технические решения [2,3]:

1) из входной и рабочей зон образовали единую рабочую зону, для которой установили $\tan \alpha = (\Delta h/2)/(0,6 - 0,7)l_{pz}$, где α – угол ее наклона к оси канала; Δh – абсолютное обжатие по толщине, мм; l_{pz} – длина единой рабочей зоны, мм;

2) при переходе от рабочей к калибрующей и от калибрующей к выходной зоне выполнили фаски регламентированной длины $l_{\phi} = (0,075 - 0,15) l_{kz}$, где l_{kz} – длина калибрующей зоны, мм;

3) установили условие: $\alpha_{\text{малой грани}} > \alpha_{\text{большой грани}}$, т.е. $l_{\text{од большой грани}} > l_{\text{од малой грани}}$.

Для осуществления третьего направления приняли отношение длины выходной зоны $l_{вз}$ к полной длине канала l_{Σ} в интервале 0,24 – 0,32 [4].

Использование волок с усовершенствованной геометрией канала обеспечило надежное волочение нихромовых (марки Х20Н80) и ферронихромовых (марки Х15Н60) полос за счет существенного улучшения поступления смазки в ОД. Известно, что волочение нихрома сопровождается высоким контактным давлением, подтвержденным следующим расчетом. Согласно [5, с. 143, формула VI – 8а] среднее нормальное напряжение на контакте металл – волока:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sigma_{lym} \cdot E}{2(1 + \mu \cdot \tan \alpha)(1 - \nu)}}, \quad (1)$$

где σ_{lym} – продольное напряжение в упругой зоне, МПа; E – модуль упругости, МПа; μ – коэффициент трения; ν – коэффициент Пуассона. При конкретных значениях $\sigma_{lym} = 64$ МПа; $E = 1,1 \cdot 10^5$ МПа; $\mu = 0,07$; $\nu = 0,22$; $\alpha = 6$ град рассчитанное по (1) напряжение $\sigma_n = 1650$ МПа хорошо коррелирует с приведенным в [5, табл.14] и равным 1520 МПа. Для надежности дополнительно рассчитали по [6, с.298 и табл.22] среднее контактное давление в ОД $p_n = 1480$ МПа, вполне (с отклонением $\sim 10\%$) согласующееся с результатом расчета σ_n по [5]. При волочении заготовки, например сечением 3х33 мм на полосу 2х32,5 мм, нормальная к поверхности рабочей зоны сила $P_n = 257$ кН. Столь высокие значения p_n и P_n , а также склонность нихрома к адгезии приводят к интенсивному износу канала – налипанию металла на его поверхность и выкрашиванию твердого сплава вследствие нарушения режима граничного трения, особенно при завышенных на производстве значениях угла $\alpha = 8 - 12^\circ$.

После усовершенствования согласно [2,3] волочильного канала (с учетом возросшей в 3 – 6 раз $l_{\text{од}}$) $p_n = 494$ МПа, т.е. получено $1650/494 = 3,34$ - кратное снижение нормальных напряжений; это улучшило поступление смазки в ОД, обеспечило граничный режим трения, многократное повышение стойкости волок, и ликвидацию обрывности.

Обоснование параметров канала с целью реализации всех указанных направлений здесь не приводится, а из трех технических решений внимание уделено третьему, а именно: $\alpha_{\text{м грани}} > \alpha_{\text{б грани}}$ (соответственно $l_{\text{од б грани}} > l_{\text{од м грани}}$). Выполнение неравенства $\alpha_{\text{м}} > \alpha_{\text{б}}$ с целью соблюдения условия $l_{\text{од б}} > l_{\text{од м}}$ необходимо, т.к. равенство углов порождает следующие недостатки. На производстве практически невозможно выдержать условие $\Delta h_{\text{б}} = \Delta h_{\text{м}}$, во-первых, из-за значительного допуска на толщину горячекатаной заготовки ($\pm 0,5$ мм), во-вторых, вследствие трудности контроля упомянутых отрицательных факторов. Ситуация вполне положительна, т.е. негатива с позиции течения металла в ОД нет, если $\Delta h_{\text{б}} > \Delta h_{\text{м}}$; тогда $l_{\text{од б}} > l_{\text{од м}}$, и деформация на больших гранях начнется раньше, чем на малых. При действии неравенств $\Delta h_{\text{б}} < \Delta h_{\text{м}}$ и $l_{\text{од б}} < l_{\text{од м}}$ деформация на малых гранях начнется раньше, чем на больших, тогда положение резко ухудшается: 1) нарушается поперечная устойчивость полосы, что приводит, с учетом отношения b/h в интервале от 6:1 до 15:1, к продольным складкам на полосе, т.е. к неисправимому дефекту; 2) появляется смещение металла в поперечном направлении – подобно известному из прокатки явлению интенсивного течения металла в ширину при очень высоком ОД, когда фактор формы ОД $l/h_c \ll 1$. При малом радиусе закругления в углах канала это приводит к появлению «наплывов» в районе кромок полосы, выдавливанию смазки из ОД, снижению стойкости канала и качества поверхности полосы и неизбежному обрыву. Свидетельство нарушения режима граничного трения – блестящие, в отличие от основной матовой поверхности, участки вблизи кромок полосы.

Качество поверхности полос улучшили путем создания устойчивого режима граничного трения за счет устранения указанных наплывов, препятствовавших смазке поступать в ОД; полосы имеют матовую поверхность, подтверждающую смазочный эффект. Решение задач согласно 1-му и 2-му направлениям привело к устранению указанных негативных явлений. Освоен промышленный выпуск 14-и позиций полос из нихрома и ферронихрома, полностью отвечающих требованиям стандартов по качественным и количественным показателям.

С целью ликвидации разрушения твердосплавных вставок согласно 3-му направлению [4] рассмотрены силы Q и F , нормальные к поверхности рабочей зоны канала^{*} и действующие на твердосплавную вставку 2 и стальную обойму 3 (рисунок, поз. а); линиями 1-1 показаны места разрушения вставки. Распорные силы Q намного больше сил F и имеют в случае вставки традиционного исполнения неблагоприятное направление (рис.1, поз. б) по сравнению с усовершенствованной вставкой [4] (рисунок, поз. в). На рисунке, поз. б сила Q направлена в итоге на опирающуюся на дно обоймы 3 поверхность

* Далее для краткости эти силы названы распорными

4 вставки 2, а поскольку в этом месте суммарное сечение б-б вставки и обоймы снижено, то оно не может противостоять силе Q , и, как следствие, происходит излом вставки. На рисунке, поз. в силы Q смещены ко входу в канал, и им противостоит усиленное суммарное сечение в-в вставки 2 и обоймы 3. При этом боковая поверхность 5 вставки контактирует с обоймой через слой латунного припоя 6, что дополнительно компенсирует негативное действие распорных сил Q .

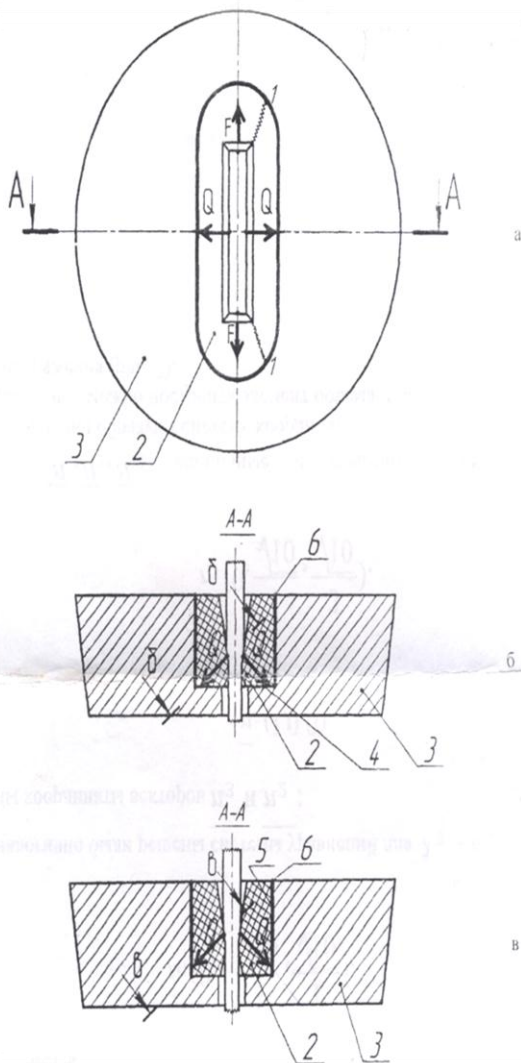


Рис. Схема действия сил на вставку и обойму:
а – вид волокна со стороны выхода из канала; б –
волокна традиционного исполнения; в – волокна с
усовершенствованной вставкой

Подтверждением опасности разрушения вставки служит следующий расчет. Согласно формуле верхней оценки [7] нормальное напряжение на большой грани рабочей зоны канала при плоском деформированном состоянии:

$$\sigma_n / 1,15\sigma_s = 1 + 0,25l_{од}/h_c, \quad (2)$$

где σ_s – среднее сопротивление холодной деформации нихрома; $\sigma_s = 800$ МПа; h_c – средняя толщина ОД.

Для первого прохода ($h_0 = 6$ мм; $h_1 = 5$ мм; $\alpha_{min} = 3$ град) $\sigma_n = 1319$ МПа. Это значение, а тем более рассчитанные выше $\sigma_n = 1650$ МПа и $p_n = 1480$ МПа близки к допускаемому напряжению на изгиб твердого сплава ВК8, равному 1666 МПа, и это – неоспоримое доказательство объективной причины изломов вставок на производстве.

При обосновании рекомендованного интервала $l_{вз}/l_{\Sigma} = 0,24 - 0,32$ [4] учтено, что при его нижнем пределе 0,24 и $l_{\Sigma} = 25$ мм получим $l_{вз}^{min} = 6$ мм. Следовательно, соответственный полюс круга (при $l_{вз}/d_k = 0,2$, где d_k – диаметр калибрующий зоны) имеет $d = 6/0,2 = 30$ мм; при верхнем пределе 0,32 $l_{вз}^{max} = 8$ мм, и соответственный круг имеет $d = 8/0,2 = 40$ мм. Прутки таких диаметров на самом деле являются весьма крупными; таким образом, диапазон отношения $l_{вз}/l_{\Sigma} = 0,24 - 0,32$ адекватен ситуации и способствует достижению поставленной цели.

В итоге, при использовании усовершенствованной волокна для получения самой массовой из нихромовых полос сечением 3х30 мм ее стойкость составила 4,5 – 5 т протянутого металла. Разрушение вставок при волочении полос всех размеров прекратилось; волокна, как правило, выходят из строя из-за налипания нихрома, что снижает качество поверхности и точность размеров полос. Вместе с тем волоку с налипками восстанавливают путем их ликвидации и обработки канала на прецизионном станке AGIECUT CLASSIC 2S (Швейцария), который вполне надежно и с надлежащей точностью обеспечивает получение требуемых параметров канала.

Список литературы

1. Козловских Н.Ф., Котельников В.П., Снигирев А.И. и др. Освоение технологии производства проволоки и полос из нихрома. Цветные металлы № 10, 2003. С. 82-84.
2. Патент РФ № 2371268 Твердосплавная волока для волочения полос из нихрома и подобных сплавов / Н.С. Арсентьева, Л.М. Железняк, А.И. Снигирев, Н.А. Снигирев. Оpubл. 27.10.2009. Бюл. № 30.
3. Патент РФ № 2383404 Твердосплавная волока для получения полосовых профилей / Н.С. Арсентьева, Л.М. Железняк, А.И. Снигирев, Н.А. Снигирев. Оpubл. 10.03.2010. Бюл. № 7.
4. Патент РФ № 2400320 Твердосплавная волока для волочения изделий из труднодеформируемых сплавов / А.И. Снигирев, Н.А. Снигирев, Л.М. Железняк. Оpubл. 27.09.2010. Бюл. № 27.
5. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. Изд.2-е. М.: Металлургия, 1971. 448 с.
6. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин и др. М.: Металлургия, 1976. 416 с.
7. Ильюшин А.А. Прикладная математика и механика. Т.19, вып.6, 1955.